

Stopy srebra z miedzią.

W. BRONIEWSKI i S. KOŚLACZ.

Zarys historyczny. Stopy srebra z miedzią należą do stopów legalnych ustalanych i kontrolowanych przez państwowe urzędy probiercze. W zakresie od 97 do 50^{0/0} srebra są one używane do bicia monet i do wyrobu naczyń stołowych.

Budowa stopów srebra z miedzią jest nader prosta, gdyż składa się z dwóch roztworów stałych granicznych i z ich mieszaniny.

Pierwsze badania nad budową tych stopów wykonali Heycock i Neville ¹⁾ ustalając likwidus krzywej topliwości. Bardziej dokładna analiza termiczna zaopatrzona w solidus wykonana została przez Friedrich i Leroux²⁾ oraz przez Lepkowskiego³⁾.

Friedrich i Leroux wskazują eutektykę przy 778⁰ i przy 71,9^{0/100} srebra; przy temperaturze likwidusu roztwór stały od strony srebra sięga 6^{0/100} miedzi, ale przy zwykłej temperaturze nawet stop o zawartości 1^{0/100} miedzi wykazuje niejednorodność pod mikroskopem.

Lepkowski podaje eutektykę przy 778⁰ i 73^{0/100} srebra, zaś roztwory stałe graniczne ustala na 6^{0/100} miedzi i 3^{0/100} srebra.

Przewodnictwo elektryczne tych stopów badane było przez Matthiessena⁴⁾, Matthiessena i Vogta⁵⁾, Strouhala i Barusa⁶⁾ oraz Kurnakowa, Puschina i Senkowskiego⁷⁾.

¹⁾ Heycock i Neville, Phil. Trans. R. S. (A) — 189 — 25 — 1897.

²⁾ Friedrich i Leroux, Metallurgie, 4 — 297 — 1907.

³⁾ Lepkowski, Zs. anorg. Chem., 59 — 285 — 1908.

⁴⁾ Matthiessen, Phil. Trans. R. S. 150 — 161 — 1860; Pogg. Ann. 110 — 190 — 1860.

⁵⁾ Matthiessen i Vogt, Phil. Trans. R. S. 154 — 167 — 1864; Pogg. Ann. 122 — 19 — 1864.

⁶⁾ Strouhal i Barus, Abh. K. Böm. Gessel. d. Wiss. Mat. Nat. Kl. (6) — 12 — 1883/4, N. 14, 15.

⁷⁾ Kurnakow, Puschin i Senkowski, Zs. anorg. Chem. 68 — 123 — 1910.

Wyniki tych badań wskazują, że granice roztworów stałych zależą od temperatury wyżarzenia i szybkości studzenia próbek.

Temat zmiany granicy roztworów stałych w stopach srebra z miedzią w zależności od temperatury, zainteresował w ostatnich latach cały szereg badaczy i został dość szczegółowo opracowany.

O ile roztwory stałe graniczne w tych stopach ulegają rozkładowi przy obniżeniu temperatury, przewidywać było można polepszenie własności mechanicznych przez obróbkę termiczną, polegającą na hartowaniu przy możliwie wysokiej temperaturze i starzeniu przy odpuszczaniu przy temperaturze niższej.

Norbury⁸⁾ wykonał takie próby nad normalnym angielskim stopem (standard silver) zawierającym 92,5% srebra i 7,5% miedzi. Mógł on stwierdzić, że przez hartowanie przy 800° cała miedź przechodzi do roztworu stałego i że odpuszczanie tego stopu przez ½ godziny przy 300° powoduje wzrost twardości o 300%, wytrzymałości na rozwanie o 50% przy równoczesnym spadku wydłużenia o 50%.

Możliwość obróbki termicznej stopów miedzi ze srebrem potwierdzają Fraenkel i Schaller⁹⁾ dla stopów zawierających od 3 do 20% miedzi, uważając również 300° za najwłaściwszą temperaturę odpuszczania po hartowaniu.

Ustalenie granic roztworów stałych granicznych w stopach miedzi ze srebrem w zależności od temperatury wykonano równorzędnie kilku metodami.

Johansson i Linde¹⁰⁾ czynią to, badając przewodnictwo elektryczne i znajdują roztwory stałe do 6,1% miedzi i 8,2% srebra, przy 750° oraz do 2,4% miedzi i 1,7% srebra przy 350°.

Według Weinbauma¹¹⁾ röntgenogramy wskazują na roztwory stałe graniczne o zawartości 5% miedzi i 3% srebra w stopach hartowanych powyżej 440°. Te same wskazówki ma dawać badanie twardości.

Również za pomocą röntgenogramów badają Ageew i Sachs¹²⁾ roztwory stałe od strony srebra oraz Ageew, Hansen i Sachs¹³⁾ od strony miedzi. Znajdują oni w pobliżu temperatury eutektyki 8,8% miedzi i 7,0% srebra, w roztworze zaś w pobliżu zwykłych temperatur około 0,3% miedzi i 0,1% srebra.

⁸⁾ Fraenkel i Schaller, *Zs. f. Metallkunde*, 20 — 237 — 1928.

⁹⁾ Norbury, *J. Inst. Met.* 39 — 145 — 1928.

¹⁰⁾ Johansson i Linde, *Zs. f. Metallkunde*, 20 — 443 — 1928.

¹¹⁾ Weinbaum, *Zs. f. Metallkunde*, 21 — 397 — 1929.

¹²⁾ Ageew i Sachs, *Z. Physik*, 63 — 293 — 1930.

¹³⁾ Ageew, Hansen i Sachs, *Z. Physik*, 66 — 350 — 1930.

Hansen¹⁴⁾ bada rozpuszczalność przez hartowanie i obserwację mikrograficzną stopów bogatych w srebro i znajduje 9^{0/0} miedzi przy temperaturze eutektyki, 2,2^{0/0} w pobliżu 400⁰ i 1,7^{0/0} poniżej 300⁰.

Tą samą metodą oraz przez przewodnictwo elektryczne bada stopy srebra z miedzią Stockdale¹⁵⁾. Znajduje on przy temperaturze eutektyki roztwory stałe o zawartości 8,8^{0/0} miedzi i 8,2^{0/0} srebra, w pobliżu 400⁰ 1,1^{0/0} miedzi i 0,7^{0/0} srebra zaś przy zwykłej temperaturze 1^{0/0} miedzi w srebrze i całkowitą prawie nierozpuszczalność srebra w miedzi.

Próbki. Badania nasze obejmowały 15 parametrów fizycznych i mechanicznych własności, z których 5 tylko było badanych uprzednio.

Stopy wytworzone zostały w grafitowych tyglach w piecu kryptolowym, czyli w atmosferze mocno redukującej, poczem odlewane były do stalowych form o 18 mm. średnicy.

Przez walcowanie na zimno nadawano tym odlewom formy prętów o średnicy 6 mm. przy czym podlegały one po każdym 20^{0/0} zgńio-cie krótkiemu wyżarzaniu pomiędzy 600⁰ i 700⁰. Dalsze zmniejszanie średnicy do 5 mm. odbywało się przez przeciąganie, poczem próbki podlegały 12 godzinnemu wyżarzaniu przy 650⁰ w atmosferze dwutlenku węgla. Po ukończeniu wyżarzania próbki stygły, po wyjęciu z pieca, w powietrzu.

Analiza termiczna. Przy analizie termicznej stop wytworzony w tyglu grafitowym przetapiany był w elektrycznym piecu oporowym w tyglu z gliny ogniotrwałej z szybkością ogrzewania zbliżoną do 10⁰ na minutę. Krzywe topliwości przy ogrzewaniu i stygnięciu otrzymywano przez fotograficzne rejestrowanie zapomocą aparatu Rengade'a.¹⁶⁾

Wyniki tych pomiarów podane zostały w tablicy I i na rys. 1. Przez *S* oznaczona została na tablicy temp. solidusu, przez *L* — temp. likwidusu i przez *l* — długość przystanku eutektycznego, skorygowanego w stosunku do szybkości ochładzania.

Na podstawie tych danych można ustalić położenie eutektyki miedź-srebro przy 779⁰ i 71^{0/0} ciężarowych srebra, co lepiej zgadza się z wynikami pracy Friedricha i Leroux niż Lepkowskiego.

¹⁴⁾ Hansen, Zs. f. Metallkunde, 21 — 181 — 1929.

¹⁵⁾ Stockdale, J. Inst. Met. 45 — 127 — 1931.

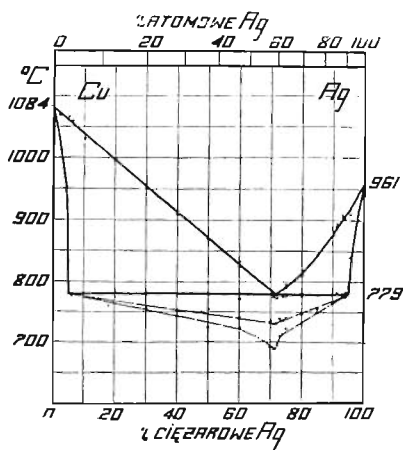
¹⁶⁾ W. Broniewski, Zasady Metalografji, str. 103.

Tablica I.
Właściwości fizyczne stopów miedzi ze srebrem.

% Ag cięż. at.	T o p l i w o ś ć						Przewodnictwo elektryczne		Termo- elektryczność		Napięcie elektrolityczne		Rozszerzal- ność	
	Ogrzewanie			Stygnięcie			$c \cdot 10^{-4}$	$\alpha \cdot 10^4$	$p \cdot 10^6 / 2q \cdot 10^8$	E_{\min}	E_{\max}	$d \cdot 10^6 / 2e \cdot 10^6$		
	S_1	L_1	I_1	S_2	L_2	I_2								
0 (Cu)	1084			1084			62,4	41,2	2,660	4,26	-0,0219	16,35	7,4	
2 1,2	1070			1068	1024		58,4	39,4	2,384	4,85	-0,0209	16,63	6,4	
5 3,0	1065			1062	932		54,2	34,1	2,162	5,30	-0,0210	16,56	6,3	
6 3,6	1059			1056	778	1,0								
10 6,2	1030			1028	778	2,0	54,3	34,0	2,141	5,51	-0,0237	17,12	4,2	
20 12,9	997			994	780	6,0	54,4	33,4	2,101	5,12	-0,0229	17,13	4,5	
30 20,0	951			952	778	9,3	53,8	33,8	2,155	5,02	-0,038	16,95	6,0	
40 28,2	913			909	780	15,0	54,5	33,4	2,168	4,80	-0,047	17,19	6,0	
50 37,1	872			870	779	22,0	54,5	33,4	2,180	4,53	-0,067	17,50	4,1	
60 46,9	832			825	877	22,4	55,0	33,8	2,189	4,13	-0,050	17,57	5,1	
70 57,9	780			780	780	34,0	54,8	33,6	2,214	4,44	-0,056	18,63	4,9	
71 59,1	776			775	775	35,7								
72 60,2	778			775	775	33,0								
73 61,4	780			780	780	27,0	54,8	33,2	2,209	3,94	-0,0523	18,39	4,2	
74 62,6	787			780	776	25,4								
75 63,9	795			790	777	22,1	54,6	33,6	2,196	3,50	-0,0480	18,40	5,8	
80 70,2	820			810	778	19,0	54,8	33,0	2,196	3,50	-0,0480	18,43	7,1	
83,4 74,7														
85 77,0	845			842	778	11,2	55,0	33,3	2,228	3,16	-0,0979	18,87	4,2	
85,7 77,9														
87 79,8														
87,5 80,4														
90 85	883			876	780	4,4	54,2	34,1	2,181	2,91	-0,0908	18,40	7,7	
91,5 86,4	892			894	780		55,4	33,2	2,220	2,83	-0,1093	18,38	6,6	
92,5 88,0														
93 88,7	909			906	780	2,2	55,6	33,2	2,214	2,45	-0,1472	18,60	7,6	
94 90,2	902			909	783	2,0								
95 91,8	917			910	839		55,9	33,8	2,228	2,16	-0,1362	18,79	6,7	
98 98,6	943			945	916		58,4	34,4	2,254	2,83	-0,1734	18,91	6,6	
100 (Ag)	961			961			66,5	38,2	2,365	3,03	-0,1700	18,83	7,1	

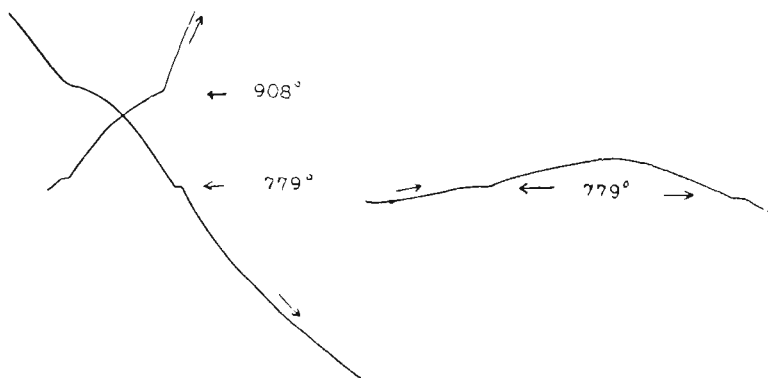
Ostatnie ślady przystanku eutektycznego dają się zauważyć w stopach o 6% miedzi i 6% srebra. Te granice roztworów stałych są szcuplejsze od dających się stwierdzić przez hartowanie.

Dla ustalenia czy ta rozbieżność nie zanika przy mniejszej szybkości oziębiania stopów podczas analizy termicznej zastosowano do stopów, które dawały się ujednostajnić przez hartowanie, zaś wykazywały eutektykę przy krzepnięciu, trzaskrotnie bardziej powolny tryb zmiany temperatury. Stopy te ogrzewano o kilkanaście stopni ponad temperaturę eutektyki, poczem z taką samą powolnością je studzono. Nie powodowało to jednak zaniku przystanków eutektycznych, jak to widać na rys. 2.



Rys. 1.

Wykres topliwości i krzywa przystanków przy ogrzewaniu (kółka) i przy oziębianiu (kwadraciki).



Rys. 2.

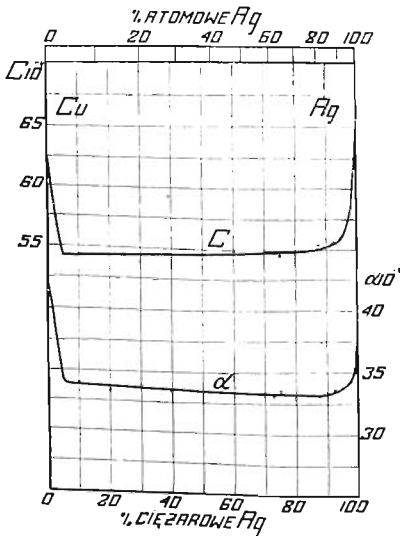
Wykresy ogrzewania i oziębiania stopu o zawartości 93% srebra i 7% miedzi. Na wykresie z prawej strony zmiana temperatury jest trzaskrotnie powolniejsza niż na wykresie z lewej strony (reprodukcja oryginalnych wykresów).

Taki stan wskazuje prawdopodobnie na bardzo powolną dyfuzję pomiędzy kryształami pierwotnie wydzielonemi i pozostałą cieczą, tak, że skład tej ostatniej sztucznie zostaje nieco zbliżony do składu eutektycznego i wcześniej wykazuje pierwsze ślady przystanków eutektycznych, niżby to zachodziło przy stałym utrzymywaniu równowagi pomiędzy składem cieczy i wydzielonemi kryształami.

Własności fizyczne. Własności te obejmują 7 parametrów badanych w taki sam sposób jak w poprzednich pracach. Odnośne wyniki wskazane zostały w tablicy I i na wykresach 3, 4 i 5.

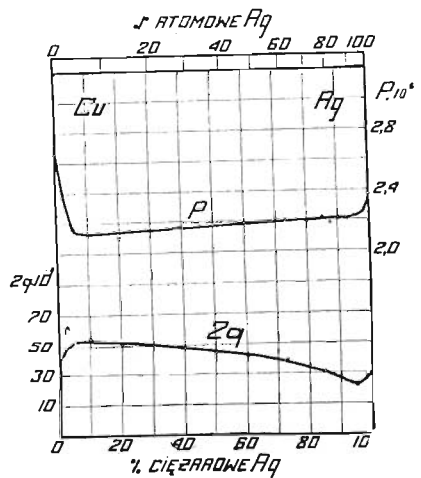
Przewodnictwo elektryczne i zmianę oporu elektrycznego z temperaturą podaje rys. 3-ci. Wykresy te wskazują dość ostre załamanie od strony miedzi i bardziej łagodne od strony srebra. Linja zbliżona do prostej i odpowiadająca mieszaninom zauważona być może w przybliżeniu od 5 do 93% ciężarowych srebra.

Zdolność termoelektryczna i jej zmiana z temperaturą przedstawione zostały na rys. 4-ym. Wygięcia odpowiadające roztworom stałym skierowane są w obu krzywych w tym samym kierunku od strony srebra i w kierunkach przeciwnych od strony miedzi. Linja



Rys. 3.

C — przewodnictwo elektryczne przy 0° ; α — współczynnik zmiany oporu elektrycznego pomiędzy 0° i 100° .

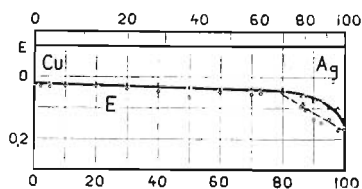


Rys. 4.

P — zdolność termoelektryczna przy 0° w voltach w stosunku do ołowiu; $2q$ — zmiana zdolności termoelektrycznej z temperaturą pomiędzy -78° + 100° .

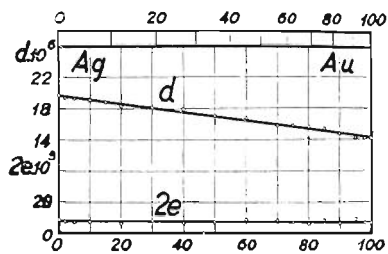
odpowiadająca mieszaninom daje się ustalić w przybliżeniu również od 5 do 95% srebra.

Napięcie elektrolityczne badane w normalnym roztworze siarczanu miedziowego w stosunku do normalnej elektrody rtęciowej przedstawione jest na rys. 5-tym.



Rys. 5.

Napięcie elektrolityczne w woltach badane w normalnym roztworze siarczanu miedziowego w stosunku do elektrody rtęciowej (krzyżyki oznaczają wartości maksymalne, krążki — wartości minimalne).



Rys. 6

d — współczynnik rozszerzalności przy 0° ; $2e$ — zmiana współczynnika rozszerzalności pomiędzy 17° i 444° .

W porównaniu do wyników otrzymanych przez Herschkovitscha¹⁷⁾, nie wykazuje ten wykres spadku zresztą dość słabego, w pobliżu miedzi. Są to różnice nieznaczne o ile się uwzględni niepewność samej metody. Np. badania napięcia elektrolitycznego wykonane w normalnym roztworze azotanu amonowego w stosunku do elektrody węglowej, wykazują dość znaczny spadek napięcia wartości maksymalnych w pobliżu eutektyki dla stopów bogatszych w srebro, aczkolwiek teoretycznie taka zmiana potencjału nie dałaby się przewidzieć.

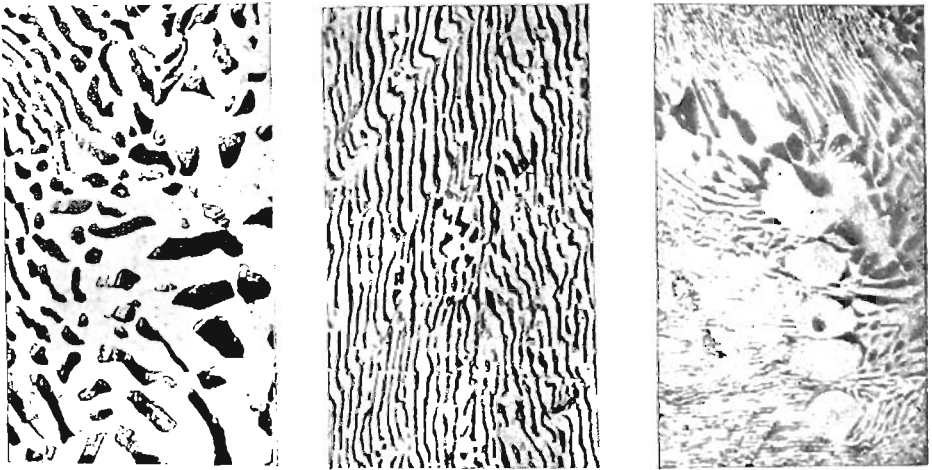
Rozszerzalność, badana pomiędzy temperaturą zwykłą i temperaturami wrzenia naftaliny i siarki, pozwala na obliczenie współczynnika rozszerzalności i jego zmiany z temperaturą, jak to przedstawia rys. 6-ty.

Oba te parametry dają na wykresie linje zbliżone do prostej, gdyż odchylenia leżą, jak się zdaje, w granicach błędów doświadczalnych.

Mikrografia. Za pomocą mikrografji badane były skład eutektyki oraz granice roztworów stałych.

¹⁷⁾ Herschkovitsch, Zs. phys. Chem. 27 — 123 — 1898.

Jak to wskazuje rys. 7, przy 70% ciężarowych srebra uwidoczni-
ne być mogą jeszcze na tle eutektyki nieco większe ciemne kryształy
roztworu stałego, bogatego w miedź, natomiast przy 72% srebra za-
uważyć się dają na tle eutektyki nieliczne zaokrąglone jasne kry-
ształy roztworu stałego bogatego w srebro. Stop o 71% srebra i 29%
miedzi składa się wyłącznie z eutektyki, zgodnie z wynikami analizy
termicznej.



Rys. 7.

Stopy srebra z miedzią zbliżone do eutektyki. Na lewo 70% srebra, po środku
71%, na prawo 72%. Trawione mieszaniną kwasu siarkowego i chromowego.
Pow. = 500.

W próbkach, przez nas badanych wyżarzanych przy 650°, roztwo-
ry stałe sięgały 5% miedzi i 4% srebra.

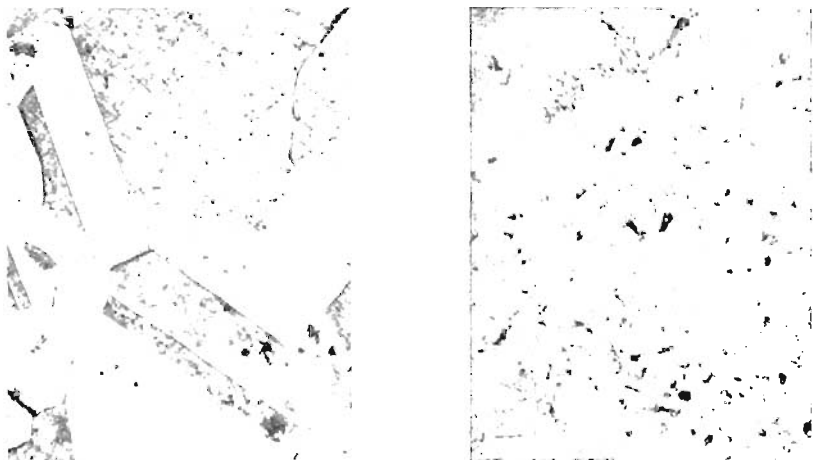
Po hartowaniu stopów, utrzymywanych w próżni przez 12 godzin
przy 750°, próbka, zawierająca 7% miedzi, zachowywała jeszcze je-
dnolitą budowę, gdy przy 8% miedzi dawały się już zauważyć pier-
wsze ślady segregacji (rys. 8).

W topach bogatych w miedź, jednolita budowa sięga 6% ciężaro-
wych srebra, zaś przy 7% wykazuje mikrografia pierwsze ślady wy-
dzielenia roztworu stałego bogatego w srebro (rys. 9).

Uzyskane przez nas granice roztworów stałych przy 750° najbar-
dziej są zbliżone do wskazanych ostatnio przez Stockdala (1931).

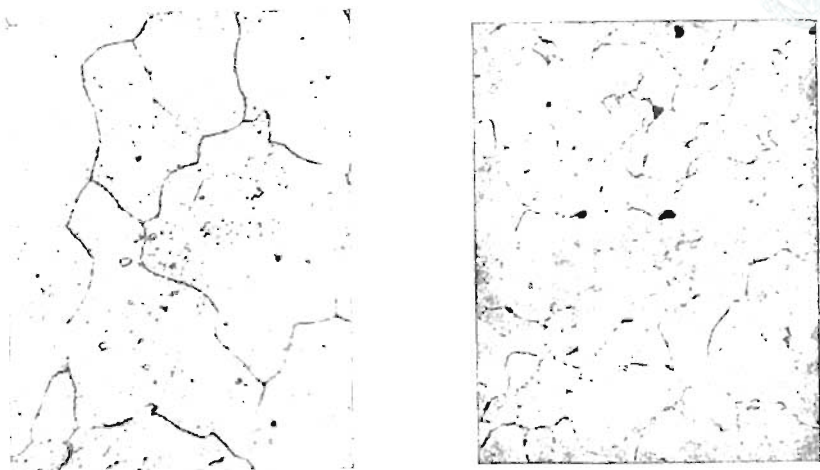
Własności mechaniczne. Śród mechanicznych własności stopów
srebra z miedzią, obejmujących 7 parametrów, badana była systema-

tycznie jedynie twardość przez Kurnakowa, Puschina i Senkowskiego¹⁹⁾. Według tych badań twardość miedzi ($H = 40$) wzrasta dość



Rys. 8.

Stopy srebra z miedzią, zbliżone do roztworu stałego granicznego bogatego w srebro, hartowane przy 750° . Na lewo 7% miedzi, na prawo 8%. Trawione mieszaniną roztworu cjanku potasowego i wody utlenionej. Pow. = 200.



Rys. 9.

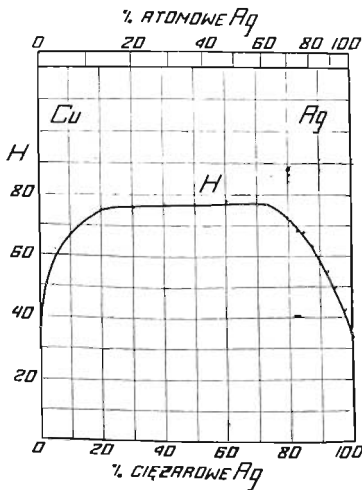
Stopy srebra z miedzią, zbliżone do roztworu stałego granicznego, bogatego w miedź, hartowane przy 750° . Na lewo 6% srebra, na prawo 7%. Trawione 10% roztworem nadsiarczanu amonowego. Pow. = 200.

¹⁹⁾ Kurnakow, Puschin i Senkowski, l. cit.

szybko do 7% srebra ($H = 58$), gdy twardość srebra ($H = 25$) wzrasta do 6% miedzi ($H = 50$); pomiędzy temi dwoma punktami załamania, twardość ma przebieg linjowy.

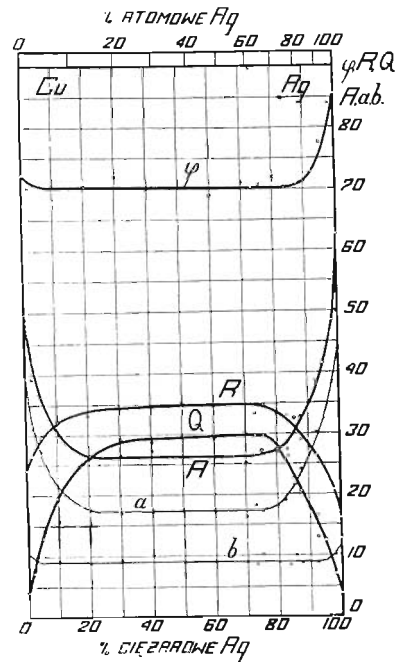
Porównyując te wyniki z naszymi (tablica II i rys. 10) widzimy, że przebieg linii prostej sięga tylko od 20 do 73% srebra, a więc obejmuje zakres znacznie węższy, natomiast twardość wynosi w tym obrębie przeciętnie 76 jednostek Brinella, a więc jest znacznie wyższa niż w poprzednich badaniach.

Różnice takie przypisać należy w pierwszym rzędzie temu, że stopy nasze nie były powoli studzone, lecz chłodzone w powietrzu po wyjęciu z pieca przy temperaturze 650° . Powodowało to korzystną obróbkę termiczną dającą się porównać do łagodnego hartowania.



Rys. 10.

Twardość stopów srebra z miedzią.



Rys. 11.

Własności mechaniczne wytrzymałościowe. R , wytrzymałość na rozerwanie w kg na mm^2 ; Q , granica proporcjonalności w kg na mm^2 ; A , wydłużenie całkowite przy rozerwaniu w $\%$; a , wydłużenie równomierne przy rozerwaniu w $\%$; $b = A - a$, wydłużenie przewężeniowe w $\%$; φ , przewężenie w $\%$.

Właściwości mechaniczne, pochodzące z badań wytrzymałościowych na rozerwanie, podane zostały w tablicy II i na rys. 11.

Tablica II.
Właściwości mechaniczne stopów miedzi ze srebrem.

$\frac{0}{0}$ Ag cięż. atom.	R	Q	A	α	b	φ	H
0 0	24	4.0	50	39,5	10,5	72.0	
2 1,2	26,4	7,23	39,2	31.0	8,2	70,2	50,2
5 3.0	29,7	13,0	36,4	27,3	9,1	71,4	62,2
10 6.2	32,2	19,6	30,7	21,5	9,2	70,5	67,4
20 12.9	33,2	26,6	26,2	17,5	8,7	70,2	75,4
30 20.0	34,3	29,3	26,3	16,9	9,4	71,5	76,3
40 28,2	34,9	28,5	27,4	17,2	10,2	69,9	77,1
50 37,1	35,3	29,4	26,2	17,2	9,0	70,1	77,0
60 46,9	34,8	29,2	26,5	17,6	8,9	68,9	78,4
70 57,9	35,0	30,5	25,2	16,2	9,0	71,1	77,1
73 61,4	33,4	29,6	26,6	18,3	8,3	70,3	77,1
75 63,9	35,0	29,8	27,5	17,3	10,2	70,6	
80 70,2	33,4	27,4	27,3	18,2	9,1	72,2	72,3
83,4 74,7	33,3	26,6	27,4	19,0	8,4	70,1	68,3
85,7 77,9	29,8	21,7	32,8	22,6	10,2	72,6	67,9
87,5 80,4	28,7	20,5	32,7	24,3	8,4	70,8	63,3
90 85,0	27,9	17,7	35,1	26,2	8,9	71,2	57,7
92,5 88,0	26,5	16,4	39,3	30,5	8,8	72,5	55,0
92,8 88,4	25,8	13,7	36,4	26,6	9,8	70,2	
95 91,8	24,8	12,6	41,6	32,5	9,1	77,7	49,6
98 98,6	20,6	8,22	49,1	40,5	8,6	70,4	42,8
98 98,6	20,7	6,88	48,5	38,4	10,1	84,2	
100 100	16,1	3,84	62,5	49,7	12,8	85,5	34,3

Daje się zauważyć, że wytrzymałość na rozerwanie (R), wydłużenie całkowite (A) i wydłużenie równomierne (α) mają kształt ana-

logiczny do wykresu twardości i że takie same jak tam granice obejmuje płaska ich część środkowa.

Dla granicy proporcjonalności (Q) granice płaskiego maksimum zwięzają się (30—73% srebra) natomiast są one bardziej rozszerzone dla przewężenia (φ) i dla wydłużenia przewężeniowego (b).

Widzimy więc, że własności mechaniczne stopów srebra z miedzią ulegają znacznie wpływowi obróbki termicznej i że odnośne wykresy nie pozwalają na wysnuwanie jakichkolwiek ściślejszych wniosków dotyczących granic roztworów stałych.

Wnioski:

1. Eutektyka stopów srebra z miedzią ustalona została przez analizę termiczną i mikrografję na 779° i 71% ciężarowych srebra.
2. Roztwory stałe graniczne w stopach oziębianych w powietrzu po wyzarzaniu przy 650° mogą być ustalone na 5% miedzi i 4% srebra.
3. Roztwory stałe graniczne przy temperaturze eutektyki, wskazane przez analizę termiczną, wynoszą od 5 do 6% miedzi i od 5 do 6% srebra.
4. Roztwory stałe graniczne osiągnięte przez hartowanie przy 750° wynoszą 7,5% miedzi i 6,5% srebra.
5. Stopy zawierające od 2 do 95% ciężarowych srebra posiadają zadawalające własności techniczne, gdyż twardość ich przekracza 50 jednostek Brinella przy wydłużeniu przekraczającym 25% i przewężeniu nie niższym od 70%.

Winniśmy podziękować p. Inż. M. Śmiałowskiemu za pomoc przy badaniu rozszerzalności i napięcia elektrolitycznego, zaś p. Inż. J. Obrębskiemu za pomoc przy mikrografji.

RÉSUMÉ *)

Parmi les alliages précieux, ceux de l'argent avec le cuivre, connus depuis les temps les plus anciens, sont encore actuellement les plus répandus, surtout pour la frappe des monnaies et les services de table. Ils ont une structure très simple formée par deux solutions solides limites et leur mélange, ce qui fait citer, comme exemples classiques dans les cours de métallographie, les diagrammes de leurs propriétés physiques en fonction de la composition.

Notre étude avait pour but la détermination de quinze paramètres, dont cinq seulement avaient été étudiés précédemment.

Les résultats obtenus sont reproduits sur les figures.

*) Comptes Rendus 194 — 973. — 1932.

L'analyse thermique était faite par enregistrement photographique, très lent, à l'échauffement (après recuit) et au refroidissement. Le diagramme (fig. 1) nous indique l'eutectique à 779° et à 71 pour 100 d'argent. Les solutions solides fixées par la micrographie, paraissent s'étendre vers 750° à 7,5 pour 100 du côté de l'argent et à 6,5 pour 100 du côté du cuivre. Ces chiffres sont supérieurs à ceux des anciennes études (Lepkowski, 1908) et s'accordent aux données des recherches récentes (Stockdale, 1931).

Les propriétés physiques et mécaniques furent étudiées sur les alliages fondus dans des creusets de graphite au four à cryptol et transformés en fils de 5^{mm} de diamètre. Le recuit se faisait 12 heures à 650° dans de l'anhydride carbonique. Les mesures étaient faites par des procédés qu'un de nous avait déjà eu l'occasion d'appliquer à d'autres alliages.

Les courbes de la conductivité électrique du coefficient de température de la résistance (fig. 3) et de la dureté (fig. 10) diffèrent quelque peu par leur valeur absolue de celles qui furent établies par MM. Kurnakow, Puschin et Senkowski (1910), mais s'en rapprochent sensiblement par l'allure générale. La courbe de la force électromotrice de dissolution (fig. 5) montre, au voisinage du cuivre, une allure différente de celle indiquée par M. Herschkowitsch (1898).

Sur les diagrammes des propriétés mécaniques (fig. 11), la partie moyenne, peu différente d'une droite et censée représenter les mélanges, est de beaucoup plus restreinte que le domaine de ces mélanges. Ceci montre que tous les alliages en question subissent facilement un traitement thermique qui les améliore, par le simple fait d'un refroidissement dans l'air après recuit. Le dépôt de cristaux très petits provenant de la décomposition partielle des solutions solides, en est probablement la cause. Par un refroidissement assez lent, les limites des solutions solides peuvent être réduites au voisinage de 1 pour 100 à la température ordinaire.

Tous les alliages argent-cuivre, préparés dans une atmosphère réductrice, sont malléables et manifestent une forte striction (φ) et un allongement satisfaisant à la rupture (A). Il est à remarquer que cet allongement est dû surtout à l'amincissement uniforme de l'éprouvette (a) alors que la striction produit une augmentation de l'allongement (b) moins forte et sensiblement constante.

Par contre, la fusion des alliages argent-cuivre dans un milieu oxydant donne lieu à la formation de l'oxydure de cuivre, soluble dans l'alliage et modifiant sensiblement ses propriétés physiques et mécaniques.